



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

Q77687
1081
d. 11.11.03

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 15 JUIL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354/01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DE 540 W / 16CR95

REMISE DES PIÈCES DATE 29 AVRIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0305224 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 29 AVR. 2003		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Régis VIGAND 5, rue Noël Pons 92734 Nanterre Cedex	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 105248/RV/OFF/TPM			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	Date
Demande de brevet initiale		N°	Date
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date Pays ou organisation Date Pays ou organisation Date <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
Code APE-NAF			
Adresse		Rue 54, rue La Boétie	
		Code postal et ville 75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

Réserve à l'INPI	
REMISE DES PIÈCES DATE 29 AVRIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0305224 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	
DB 540 W / 260899	
Vos références pour ce dossier : (facultatif) 105248/RV/OFF/TPM	
6 MANDATAIRE	
Nom VIGAND	
Prénom Régis	
Cabinet ou Société Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel PG 9222	
Adresse Rue 5, rue Noël Pons	
Code postal et ville 92734 NANTERRE Cedex	
N° de téléphone (facultatif)	
N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)	
7 INVENTEUR (S)	
Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat <input checked="" type="checkbox"/> ou établissement différé <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques	
<input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)	
<input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Régis VIGAND / LC 40 B	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO	

MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE

L'invention concerne le domaine des modules de compensation de dispersion chromatique. Pour les fibres optiques, on parlera indifféremment
5 d'atténuation ou de coefficient d'atténuation.

Dans une partie des réseaux de transmission par fibre optique utilisant le multiplexage en longueur d'onde WDM (WDM signifie « wavelength division multiplexing » en langue anglo-saxonne), contenant des fibres optiques de ligne dans lesquelles se propage un signal optique, il n'existe pas de moyen de
10 compensation de la dispersion chromatique de ces fibres optiques de ligne. En effet, lorsque le débit est faible, par exemple 2.5 Gbps par canal, il n'est pas nécessaire de compenser la dispersion chromatique des fibres optiques de ligne. Par contre, lorsque le débit augmente et devient élevé, par exemple 10 Gbps par canal, une compensation à la fois de la dispersion chromatique et de la pente de
15 dispersion chromatique des fibres optiques de ligne deviennent nécessaires. Généralement, la fibre optique de ligne présente une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique qui sont positives. Par conséquent, la fibre optique de compensation de dispersion chromatique présentera généralement une dispersion chromatique et une pente de dispersion chromatique qui sont
20 négatives. La fibre optique de compensation de dispersion chromatique peut être intégrée dans un module de compensation de dispersion chromatique. La plage spectrale à compenser au niveau dispersion chromatique peut notamment inclure une ou plusieurs des bandes C, L et S.

Le signal optique va se propager dans la fibre optique de compensation
25 de dispersion chromatique. Lors de sa propagation dans la fibre optique de compensation de dispersion chromatique, le signal optique est susceptible de subir des détériorations comme par exemple une diminution du rapport signal à bruit et ou une augmentation des effets non linéaires. Pour compenser la dispersion chromatique d'un tronçon de fibre optique de ligne mesurant généralement
30 plusieurs dizaines de kilomètres, le module de compensation de dispersion

chromatique présente des pertes d'insertion qui sont généralement relativement élevées, de l'ordre de plusieurs dB. En raison de l'importance de ses pertes d'insertion, le module de compensation de dispersion chromatique est généralement placé au milieu d'un dispositif d'amplification à double étage, c'est-à-dire entre deux amplificateurs.

Pour que ce dispositif d'amplification à double étage présente un bon rapport signal à bruit optique et une bonne platitude spectrale de gain, ce dispositif d'amplification à double étage présente d'une part un gain du premier amplificateur qui est élevé, ce qui donne une puissance optique en sortie de ce premier amplificateur qui est élevée, et d'autre part un niveau de pertes entre les deux amplificateurs qui est fixe.

La fibre optique de compensation de dispersion chromatique intégrée dans le module de compensation de dispersion chromatique est une fibre optique multimode HOM (HOM signifiant « High-Order Mode » en langue anglo-saxonne) laquelle présente une surface effective très élevée par exemple de l'ordre de $80\mu\text{m}^2$, ce qui la rend nettement moins sensible aux effets non linéaires qu'une fibre optique monomode ; toutefois, les fibres optiques multimodes HOM présentent tout de même une certaine sensibilité aux effets non linéaires. Il peut être intéressant de limiter la puissance optique d'entrée dans cette fibre optique multimode HOM de compensation de dispersion chromatique afin de préserver une bonne qualité de transmission du signal optique. Pour cela, un atténuateur peut être placé entre le premier amplificateur et le module de compensation de dispersion chromatique. Cet atténuateur contrôle également la platitude spectrale de gain. Cet atténuateur peut être remplacé par un composant de routage de longueurs d'ondes ou par tout autre composant optique qui a des pertes et qui peut donc, comme l'atténuateur, limiter la puissance optique d'entrée dans le module de compensation de dispersion chromatique.

Le problème est de réaliser un module de compensation de dispersion chromatique présentant la meilleure qualité possible. Le coût d'un module de compensation de dispersion chromatique à base de fibre optique de

compensation multimodes HOM est relativement élevé car il intègre le coût des convertisseurs de mode situés en amont et en aval de la ou des fibres optiques de compensation multimodes HOM. Par contre, ce module de compensation peut être plus efficace qu'un module de compensation à base de fibre optique de compensation monomode, grâce aux valeurs très négatives de dispersion chromatique de fibre optique de compensation auxquelles il permet d'accéder et grâce à la bien meilleure tenue aux effets non linéaires des fibres optiques multimodes HOM présentant une surface effective très élevée.

Selon un premier art antérieur, il est connu de proposer un module de compensation basé sur l'utilisation d'une fibre optique de compensation multimode HOM présentant une dispersion chromatique pas très négative pour pouvoir obtenir un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique suffisamment élevé afin de pouvoir compenser aussi bien la dispersion chromatique que la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de ligne. Un inconvénient de ce premier art antérieur est de ne pas tirer tout le parti possible offert par les valeurs très négatives de dispersion chromatique que peuvent atteindre les fibres optiques multimodes HOM. Un autre inconvénient de ce premier art antérieur est de présenter un mauvais MPI (« MPI » sigle signifiant « multiple path interference » en langue anglo-saxonne), même s'il présente de bonnes pertes d'insertion. L'emploi de convertisseurs de type réseau de Bragg sur fibre optique de compensation présente l'avantage de diminuer les pertes d'insertion mais présente l'inconvénient d'un mauvais MPI. En conclusion, l'amélioration des pertes d'insertion entraîne ici une dégradation de la tenue aux effets non linéaires.

Selon un deuxième art antérieur, il est connu de proposer un module de compensation basé sur l'utilisation d'une association constituée d'une part d'une fibre optique de compensation multimode HOM présentant une dispersion chromatique très négative et d'autre part d'une fibre optique de compensation monomode pour pouvoir ainsi obtenir un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique suffisamment élevé pour la ligne optique de

compensation afin de pouvoir compenser aussi bien la dispersion chromatique que la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de ligne. Un inconvénient de cet art antérieur est sa complexité de conception et de fabrication du module de compensation associé. Un autre inconvénient est de ne pas
5 permettre une compensation très large bande spectrale. Un autre inconvénient est de perdre au moins partiellement un avantage essentiel des fibres optiques de compensation multimodes HOM qui est leur grande surface effective, en les associant à une fibre optique de compensation monomode dont la surface effective est bien inférieure. De plus, des pertes importantes se produisent au
10 niveau de la connexion entre fibre optique de compensation multimode HOM et fibre optique de compensation monomode, ce qui augmente des pertes d'insertion élevées ; en effet, la présence d'un connecteur est obligatoire au contraire de la jonction entre deux fibres optiques de compensation multimodes HOM. En conclusion, l'amélioration de la tenue aux effets non linéaires entraîne ici une
15 complexité accrue du module et une dégradation des pertes d'insertion.

Le but de l'invention est de proposer un module de compensation de dispersion chromatique de bonne qualité et tirant pleinement parti des possibilités offertes par les fibres optiques multimodes HOM. Pour cela, le module de compensation selon l'invention ne contient aucune fibre optique monomode. Mais
20 comment évaluer la qualité d'un module de compensation de dispersion chromatique ?

Les méthodes d'amélioration de la qualité d'un module de compensation selon l'art antérieur reposent sur l'amélioration unilatérale d'un paramètre partiellement représentatif de la qualité du module de compensation. Cette
25 amélioration unilatérale d'un seul paramètre partiellement représentatif de la qualité du module de compensation, que ce soit les pertes d'insertion ou bien la phase non linéaire, a deux conséquences. Tout d'abord elle augmente le prix du module de compensation. Ensuite elle a tendance à dégrader l'autre paramètre partiellement représentatif de la qualité du module de compensation, ce qui

augmente pas ou peu ou moins que souhaité, la qualité du module de compensation.

La méthode d'amélioration de la qualité d'un module de compensation selon l'invention est totalement différente. Tout d'abord cette méthode crée un critère de qualité globalement représentatif de la qualité d'un module de compensation, qui intègre, en les pondérant, les contributions d'une part des pertes d'insertion et d'autre part des effets non linéaires. La contribution des pertes d'insertion correspond aux pertes d'insertion classiques avec la différence de les ramener à une compensation complète de la fibre optique de ligne, tandis que la contribution des effets non linéaires est obtenue par l'intermédiaire d'un critère de non linéarité lié à la phase non linéaire mais distinct de la phase non linéaire. Ce critère de non linéarité est obtenue par une simplification astucieuse de la phase non linéaire prenant en compte l'aspect constant du niveau de pertes entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification à double étage. L'optimisation de ce critère de qualité original permet soit d'améliorer notablement les pertes d'insertion sans trop dégrader la tenue aux effets non linéaires et donc d'améliorer globalement la qualité du module de compensation soit d'améliorer notablement la tenue aux effets non linéaires sans trop dégrader les pertes d'insertion et donc d'améliorer globalement la qualité du module de compensation.

Selon un premier aspect de l'invention, le module de compensation selon l'invention présente une bonne qualité mesurée par le critère de qualité original précédemment décrit. De préférence, afin de présenter à la fois une dispersion chromatique très négative et un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique qui à la fois soit suffisamment élevé et présente une bonne linéarité en fonction de la longueur d'onde, le nombre de tranches dans le cœur de la fibre optique de compensation est relativement élevé. Dans une application avec relativement peu de canaux dans une bande spectrale, où la linéarité peut être relativement sacrifiée, des fibres optiques de compensation dont le cœur présente peu de tranches sont acceptables. Selon un deuxième aspect de l'invention, le module de compensation selon l'invention utilise au moins une fibre

optique de compensation dont le cœur présente un nombre élevé de tranches afin de pouvoir concilier dispersion chromatique très négative et rapport de dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique à la fois élevé et présentant une bonne linéarité en fonction de la longueur d'onde. Les tranches de cœur sont de
5 préférence de forme rectangulaire comme dans les exemples présentés ultérieurement ; les tranches de cœur peuvent toutefois aussi être de forme triangulaire ou présenter une forme en alpha ; de même certaines tranches peuvent présenter une certaine forme tandis que d'autres tranches présenteront une forme différente de la précédente.

10 Pour le premier aspect de l'invention, l'invention propose donc un procédé de conception de module de compensation, ainsi que deux modules de compensation, l'un adapté à la compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard (« standard SMF » pour « standard single-mode fiber » en
15 langue anglo-saxonne) et l'autre adapté à la compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle (« NZ-DSF » pour « non-zero dispersion-shifted fiber » en langue anglo-saxonne). Pour le deuxième aspect de l'invention, l'invention propose donc deux modules de compensation, l'un adapté à la compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard et l'autre adapté à la compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion
20 décalée non nulle.

Selon un premier aspect de l'invention, il est prévu un procédé de conception d'un module de compensation de dispersion chromatique, ledit module étant destiné à comporter, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion
25 chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie, ledit module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne
30 de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à

transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$, le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de

compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation, ledit module étant destiné à présenter des pertes d'insertion IL exprimées en dB, avec

$$IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \text{ et avec } D_{DCM} \text{ représentant l'opposé de la dispersion cumulée de la fibre optique de ligne, ledit module étant destiné à présenter un}$$

critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et

$$\text{étant exprimé en } 10^{-6} \text{ km/W-dB, avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}}, \text{ ledit module}$$

étant destiné à présenter un critère de qualité CQ exprimé en dB, avec

$$CQ = IL + 10 \log NLC,$$

ledit procédé de conception comprenant une étape d'optimisation dudit module, ladite étape d'optimisation consistant à diminuer le

critère de qualité.

Selon un premier aspect de l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode standard, il est aussi prévu un module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie, un convertisseur de mode d'entrée, convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur,

étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation, un convertisseur de mode de sortie, convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne

de sortie, le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la borne d'entrée et le convertisseur de mode d'entrée introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la borne de sortie et le convertisseur de mode de sortie introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$, le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes

fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation, le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -1360 \text{ ps/nm}$, le module présentant

un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et

étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB , avec $NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot P_{OMDCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}}$, le module

présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -200 ps/nm-km , deuxièmement un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240 nm et 400 nm , troisièmement une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 9.5 dB .

Selon un premier aspect de l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle, il est aussi prévu un module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant

située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie, un
 convertisseur de mode d'entrée, convertissant le mode fondamental en ledit mode
 d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de
 compensation, un convertisseur de mode de sortie, convertissant ledit mode
 5 d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de
 compensation et la borne de sortie, le module étant destiné à être introduit, par
 l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission
 comprenant une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle
 à 1550nm et destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral
 10 d'utilisation, la borne d'entrée et le convertisseur de mode d'entrée introduisant
 ensemble dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB, la
 borne de sortie et le convertisseur de mode de sortie introduisant ensemble dans
 la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB, d'éventuelles
 connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant
 15 ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en
 dB, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de
 compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm,
 plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF}
 exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée
 20 en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF}
 exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de
 dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de
 mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface
 effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième
 25 ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$, le
 rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant
 le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion
 chromatique moyenne, le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport
 entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation, le
 30 coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de

compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant, de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation

5 correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de

10 compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives

15 desdites différentes fibres optiques de compensation, le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB, avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -680 \text{ ps/nm}$, le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB ,

avec $NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{10}}$, le module présentant un critère de qualité CQ

20 exprimé en dB, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -250 ps/nm-km , deuxièmement une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 5.5 dB .

25 Le critère de qualité, quoique moins pertinent dans le cadre d'une utilisation avec un dispositif d'amplification et de compensation autre que le dispositif d'amplification et de compensation à double étage présenté ci-dessus,

reste valable et utile. L'invention n'est pas limitée à une utilisation dans le cadre d'un dispositif d'amplification et de compensation à double étage du type de celui présenté ci-dessus. Les valeurs très basses et par conséquent très bonnes de critère de qualité obtenues avec les modules de compensation selon l'invention
5 permettent d'envisager d'utiliser les modules de compensation selon l'invention dans un dispositif d'amplification et de compensation qui ne comporterait qu'un seul amplificateur et pas d'atténuateur, le module de compensation selon l'invention étant alors situé en aval dudit amplificateur. Il serait aussi possible dans le cas d'un dispositif d'amplification et de compensation qui ne comporterait
10 qu'un seul amplificateur, un atténuateur soit situé entre l'amplificateur et le module de compensation ou qu'en l'absence d'atténuateur le module de compensation soit situé en amont de l'amplificateur.

Selon un deuxième aspect de l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode standard, il est aussi prévu un module de
15 compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant
20 située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie, un convertisseur de mode d'entrée, convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation, un convertisseur de mode de sortie, convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de
25 compensation et la borne de sortie, le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la fibre optique de compensation ou au moins l'une des fibres optiques de compensation
30 en série présentant un cœur présentant au moins cinq tranches, auquel cœur

s'ajoute une gaine optique, de sorte que ladite fibre optique présentant un cœur à au moins cinq tranches présente à la fois une dispersion chromatique inférieure à -300ps/nm-km et un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique supérieur à 200nm .

- 5 Selon un deuxième aspect de l'invention, pour compenser une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle, il est aussi prévu un module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, une ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur
- 10 comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie, un convertisseur de mode d'entrée, convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et
- 15 la ligne optique de compensation, un convertisseur de mode de sortie, convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie, le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode à
- 20 dispersion décalée non nulle à 1550nm et destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, la fibre optique de compensation ou au moins l'une des fibres optiques de compensation en série présentant un cœur présentant au moins quatre tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique, de sorte que ladite fibre optique présentant un cœur à au moins quatre tranches
- 25 présente à la fois une dispersion chromatique inférieure à -300ps/nm-km et un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique supérieur à 80nm .

Le deuxième aspect de l'invention n'est pas limité à une utilisation dans le cadre d'un dispositif d'amplification et de compensation à double étage du type

30 de celui présenté ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des dessins joints, donnés à titre d'exemples, où :

- 5 - la figure 1 représente schématiquement un exemple de ligne de transmission intégrant un module de compensation selon l'invention ;
- la figure 2 représente schématiquement un exemple de module de compensation selon l'invention ;
- la figure 3 représente schématiquement un tableau de comparaison des
10 performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;
- la figure 4 représente schématiquement un tableau de comparaison des
15 performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle ;
- la figure 5 représente schématiquement une famille de courbes montrant
20 les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard ;
- la figure 6 représente un tableau comprenant les valeurs de rayons et de différences d'indice maximales en valeur absolue pour quelques exemples de
25 profils de fibre optique de compensation multimodes HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention ;
- la figure 7 représente un tableau comprenant d'autres propriétés des profils de fibre optique de compensation multimodes HOM représentés à la figure 6 ;

- la figure 8 représente schématiquement un exemple de forme de profil à quatre tranches de cœur d'une fibre optique de compensation multimode HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention ;

- la figure 9 représente schématiquement un exemple de forme de profil à cinq tranches de cœur d'une fibre optique de compensation multimode HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention.

Présentons les paramètres et critères qui seront utilisés dans toute la suite du texte. Deux cas se présentent, soit le module comprend une seule fibre optique de compensation présentant des paramètres, soit le module comprend plusieurs fibres optiques de compensation en série dont l'ensemble présente des paramètres moyens. Dans toutes les figures 1 à 9, pour des raisons de simplicité, le module de compensation sera considéré comme ne comprenant qu'une seule fibre optique de compensation et l'adjectif moyen pourra disparaître lors de la présentation des paramètres.

Lorsque le module de compensation ne comprend qu'une seule fibre optique de compensation, ledit module de compensation présente l'avantage important d'une simplicité de conception et de fabrication dudit module de compensation.

Lorsque le module de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation de la même famille, c'est-à-dire soit plusieurs tronçons d'une même et identique fibre optique de compensation soit plusieurs réalisations d'une même fibre optique de compensation différant par des tolérances de fabrication et que ces fibres optiques sont appariées et assemblées entre elles, elles permettent d'obtenir certaines propriétés avec une grande précision malgré des tolérances de fabrication plus larges, comme par exemple compenser plus précisément la pente de dispersion chromatique ou le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de ligne. Lesdites fibres optiques de compensation de la même famille sont de préférence directement reliées entre elles mais pourraient l'être aussi par l'intermédiaire d'un connecteur. Ledit module

de compensation présente les avantages d'une simplicité de conception et d'une amélioration de certaines propriétés dudit module de compensation.

Lorsque le module de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation distinctes et que ces fibres optiques sont appariées et assemblées entre elles, elles permettent d'obtenir une compensation sur une très large bande spectrale, c'est-à-dire sur au moins deux des bandes spectrales S, C et L. Les bandes spectrales S, C et L s'étendent respectivement environ de 1460nm à 1530nm, de 1530nm à 1565nm, de 1565nm à 1615nm. Toutefois, ledit module de compensation présente l'inconvénient d'une difficulté de conception et de réalisation dudit module de compensation. Dans les modules du deuxième art antérieur, l'emploi de l'association d'une fibre optique de compensation multimode HOM et d'une fibre optique monomode à très grande surface effective, quand celle-ci est une fibre optique monomode de compensation, ladite surface effective très élevée ayant pu être obtenue grâce au signe positif de la pente de dispersion chromatique et grâce à un comportement en courbures et microcourbures médiocre qui, empêche de faire une compensation très large bande, c'est-à-dire sur plusieurs bandes spectrales à la fois, à cause du niveau trop élevé de pertes par courbures et microcourbures qui serait obtenu aux grandes longueurs d'onde, ce qui ne serait pas le cas avec deux fibres optiques multimodes HOM. Dans le cas d'une telle association entre fibres optiques de compensation multimode HOM d'une part et monomode d'autre part, fibre optique monomode de compensation ou fibre optique monomode standard ou à dispersion décalée non nulle en guise de fibre optique de compensation, le facteur de mérite de la fibre optique multimode HOM choisie doit être nettement supérieur et donc plus difficile à obtenir que celui nécessaire en l'absence de toute fibre optique de compensation monomode, à valeurs comparables de critère de qualité.

Soit le cas de deux fibres présentant respectivement des longueurs l_1 et l_2 ainsi que respectivement des coefficients d'atténuation par unité de longueur α_1 et α_2 , la perte de connexion entre les deux fibres valant p_c . Le coefficient moyen

d'atténuation α_m par unité de longueur de l'ensemble des fibres optiques, de compensation en série vaut $\alpha_m = (\alpha_1.l_1 + \alpha_2.l_2 + p_c)/(l_1 + l_2)$. Ce type de calcul de coefficient moyen d'atténuation est généralisable à plus de deux fibres optiques de compensation en série. Seul le coefficient moyen d'atténuation qui est un cas

5 particulier de paramètre de fibre optique se calcule de cette manière, tous les autres paramètres moyens se calculent d'autres manières.

Soit le cas de deux fibres présentant respectivement des longueurs l_1 et l_2 ainsi que respectivement des dispersions chromatiques par unité de longueur c_1 et c_2 . La dispersion chromatique moyenne c_m par unité de longueur de l'ensemble

10 des fibres optiques de compensation en série vaut $c_m = (c_1.l_1 + c_2.l_2)/(l_1 + l_2)$. Ce type de calcul de dispersion chromatique moyenne est généralisable à plus de deux fibres optiques de compensation en série. Tous les autres paramètres moyens, à l'exception du coefficient moyen d'atténuation, du rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique et du facteur de

15 mérite moyen, se calculent de cette manière, à savoir, la pente de dispersion chromatique moyenne, la surface effective moyenne, le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique en fonction de l'intensité du signal lumineux se propageant dans ladite fibre optique, ce dernier coefficient étant traditionnellement appelé n_2 . Le rapport moyen dispersion

20 chromatique sur pente de dispersion chromatique est obtenu par le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne. Le facteur de mérite moyen est obtenu par l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation.

Il existe une formule exacte de critère de non linéarité dans le cas de deux

25 fibres optiques de compensation en série, par exemple appelées fibre optique a et fibre optique b. Les exposants a et b des différents paramètres représentent lesdits paramètres respectivement pour les fibres optiques a et b .

Ladite formule exacte vaut

$$NLC = 100 \cdot \left(\frac{n_2^a}{A_{eff}^a \cdot \alpha_{DCF}^a \cdot 10^{\left(\frac{\Gamma_m^a}{10}\right)}} \left[1 - 10^{\left(\frac{D_{DCM}^a}{10 \cdot FOM_{DCF}^a}\right)} \right] + \frac{10^{\left(\frac{D_{DCM}^b \cdot \alpha_{DCF}^b}{10 \cdot FOM_{DCF}^b \cdot \alpha_{DCF}^b}\right)} \cdot n_2^b}{A_{eff}^b \cdot \alpha_{DCF}^b \cdot 10^{\left(\frac{\Gamma_m^b + \Gamma_m^a}{10}\right)}} \left[1 - 10^{\left(\frac{D_{DCM}^b}{10 \cdot FOM_{DCF}^b}\right)} \right] \right)$$

où $\Gamma_m^b = \Gamma_{inter}$ dans le cas de deux fibres optiques de compensation en série.

Mais les formules approchées obtenues par l'intermédiaire de paramètres
5 moyens de la ligne optique de compensation donnent d'excellents résultats qui sont très proches de ceux qui pourraient être obtenus à l'aide de la formule exacte. C'est pourquoi, la formule approchée est utilisée.

Le module de compensation de dispersion chromatique comporte, un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie, ainsi qu'une ligne
10 optique de compensation de dispersion chromatique. La ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprend une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprend aucune fibre optique monomode, est située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie.

15 Un convertisseur de mode d'entrée, convertit le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, est situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation. Un convertisseur de mode de sortie, convertit ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, est situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie. Le module est destiné à être introduit, par
20 l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation. La borne d'entrée et le convertisseur de mode d'entrée introduisent ensemble dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB. La borne de sortie et le
25 convertisseur de mode de sortie introduisent ensemble dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB. D'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation, dans le cas où la ligne de compensation comprend plusieurs fibres optiques de compensation en série,

introduisent ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB.

La fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs

5 paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen

10 FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$. Comme déjà expliqué ci-dessus, d'une part le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation est confondu avec le coefficient

15 d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série vaut la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes

20 fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation, et d'autre part chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation est confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits

25 autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série vaut la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation.

Le module présente des pertes d'insertion IL , avec

$$IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \text{ et avec } D_{DCM} = -1360 \text{ps/nm pour la compensation}$$

d'une fibre optique de ligne monomode standard ou $D_{DCM} = -680 \text{ps/nm}$ pour la compensation d'un exemple d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion

5 décalée non nulle. En effet, un tronçon standard de fibre optique de ligne monomode présente une longueur d'environ 80km, ce qui donne une dispersion chromatique cumulée valant environ -1360ps/nm pour une fibre optique de ligne monomode standard et valant environ -680ps/nm pour un exemple d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. Même pour d'autres

10 exemples de fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle présentant une dispersion cumulée légèrement différente de -680ps/nm , l'évaluation du critère de qualité avec $D_{DCM} = -680 \text{ps/nm}$ reste tout à fait valable. De plus, pour évaluer la qualité d'un module, les pertes d'insertions ne sont pas les pertes d'insertion réelles du module qui pourraient être relativement faibles si

15 le module ne compense qu'une partie de la dispersion cumulée, mais les pertes d'insertion que présenterait le module s'il compensait 100% de la dispersion cumulée avec une longueur de fibre optique de compensation un peu plus longue que celle qu'il a s'il ne compense que partiellement. Par ailleurs, dans les formules du critère de qualité, du critère de rapport qualité prix et du critère de non

20 linéarité, la dispersion cumulée est choisie à -1360ps/nm ou -680ps/nm selon le type de fibre optique de ligne monomode à compenser, mais le module peut également servir à compenser d'autres valeurs de dispersion cumulée ou même ne compenser qu'une partie de la dispersion cumulée. Les pertes d'insertion diminuent lorsque le facteur de mérite augmente. Les pertes d'insertion restent

25 constantes à facteur de mérite constant.

Pour pouvoir compenser à environ plus ou moins 20% le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique d'une fibre optique de ligne monomode standard, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen

dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240nm et 400nm. Pour pouvoir compenser à environ plus ou moins 10% le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique d'une fibre optique de ligne monomode standard, la fibre optique de compensation ou l'ensemble
 5 des fibres optiques de compensation en série présente de préférence un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 270nm et 370nm.

Pour pouvoir compenser le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la plupart des fibres optiques de ligne monomodes à
 10 dispersion décalée non nulle, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente de préférence un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique inférieur à 200nm.

Le module présente un critère de non linéarité NLC représentant les effets
 15 non linéaires, c'est-à-dire les effets de la phase non linéaire, dans le cas particulier de pertes constantes entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification à

double étage, avec
$$NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{PCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}}$$
. Cependant, quoique moins

pertinent dans d'autres structures de dispositif d'amplification comme le serait un dispositif d'amplification à un seul étage ne comprenant qu'un amplificateur, le
 20 critère de non linéarité resterait alors tout de même intéressant. Ce critère de non linéarité permet une constatation paradoxale, à savoir qu'augmenter l'atténuation d'une fibre optique à facteur de mérite constant, diminue le critère de non linéarité et augmente les performances du module. On peut même diminuer le facteur de non linéarité en diminuant le facteur de mérite, pour peu qu'on augmente
 25 suffisamment l'atténuation sans trop dégrader la surface effective et le coefficient n_2 .

Le module présente un critère de qualité CQ, avec $CQ = IL + 10 \log NLC$. Les deux contributions, à savoir pertes d'insertion et critère de non linéarité, sont

ramenés à la même unité et sont exprimés en dB. Ce critère de qualité est représentatif de la qualité globale d'un module de compensation.

En particulier lors de l'intégration du module de compensation au milieu d'un dispositif d'amplification double étage, au travers du critère de qualité, l'invention met en évidence qu'il est intéressant de dégrader un peu les pertes d'insertion si les pertes dues aux effets non linéaires qui sont représentées par le critère de non linéarité, s'améliorent proportionnellement plus. Par exemple, il est intéressant d'augmenter les pertes d'insertion d'un dB, si par ce biais la contribution dans le critère de qualité du critère de non linéarité diminue de deux dB. Les pertes d'insertion étant fixées entre les deux amplificateurs du dispositif d'amplification double étage, toute diminution de ces pertes d'insertion en dessous du seuil fixé n'a plus pour seul intérêt que la diminution des effets non linéaires qui en découle, ce qui peut être obtenu plus facilement par une diminution importante du critère de qualité associée à une légère augmentation des pertes d'insertion. En effet, en dessous du seuil fixé, une diminution supplémentaire au niveau des pertes d'insertion ne se traduira par un gain au niveau du bilan optique global des pertes, car elle aura été annihilée par une augmentation correspondante de l'atténuation de l'atténuateur ; le seul avantage associé à cette diminution des pertes d'insertion étant obtenu au niveau de la tenue aux effets non linéaires, laquelle meilleure tenue peut être plus efficacement et plus facilement être obtenue en échangeant une légère augmentation des pertes d'insertion contre une diminution correspondante plus importante du critère de non linéarité.

A facteur de mérite de la fibre optique de compensation choisi constant, diminuer le critère de qualité revient à diminuer le critère de non linéarité, car les pertes d'insertion sont constantes à facteur de mérite constant de la fibre optique de compensation, lorsque les seuls paramètres variant sont les paramètres de la fibre optique de compensation. Diminuer le critère de non linéarité à facteur de mérite constant revient à augmenter le produit de l'atténuation par la surface effective divisé par le coefficient n_2 . Diminuer n_2 et augmenter la surface effective

semble relativement naturel, tandis qu'augmenter l'atténuation de la fibre optique de compensation est assez paradoxal.

La figure 1 représente schématiquement un exemple de ligne de transmission intégrant un module de compensation selon l'invention. La ligne de transmission correspond à un tronçon qui, périodiquement répété, et complété par des dispositifs d'émission et des dispositifs de réception, constitue le système de communication. La ligne de transmission comprend successivement, dans le sens de propagation du signal lumineux, une fibre optique 1 de ligne et un dispositif 6 d'amplification et de compensation. Le dispositif 6 d'amplification et de compensation comprend successivement un premier amplificateur amont 2, un atténuateur 3, un module 4 de compensation selon l'invention, une deuxième amplificateur aval 5. En aval du deuxième amplificateur aval 5, se trouve la fibre optique 1 de ligne du tronçon suivant. Le signal lumineux, après s'être propagé le long de la fibre optique 1 de ligne, est amplifié par l'amplificateur amont 2, puis atténué par l'atténuateur 3, compensé au niveau dispersion chromatique par le module 4 de compensation, à nouveau amplifié par l'amplificateur aval 5, avant d'attaquer le tronçon suivant, c'est-à-dire la ligne de transmission suivante. Dans un autre mode de réalisation, les éléments 3 et 5 ont été supprimés.

La figure 2 représente schématiquement un exemple de module de compensation selon l'invention. Le module 4 de compensation comprend un boîtier 49. Le module 4 de compensation comprend successivement une borne d'entrée 41, un convertisseur de mode amont 46, une ligne optique 40 de compensation de dispersion chromatique, un convertisseur de mode aval 47, une borne de sortie 42. La ligne optique 40 de compensation peut comprendre une ou plusieurs fibres optiques en série reliées entre elles par des connecteurs. Le convertisseur de mode amont 46 transforme l'essentiel de l'énergie lumineuse se propageant selon le mode fondamental LP_{01} en un mode d'ordre supérieur, par exemple LP_{02} . Le convertisseur de mode aval 47 transforme l'essentiel de l'énergie lumineuse se propageant selon le mode d'ordre supérieur LP_{02} en le mode fondamental LP_{01} . Sur la figure 2, à titre d'exemple, la ligne optique 40 de

compensation comprend deux fibres optiques de compensation 43 et 45 reliées entre elles par un connecteur 44. En amont, à la sortie de l'atténuateur 3, le signal lumineux entre par la borne d'entrée 41, est converti du mode fondamental vers un mode d'ordre supérieur par le convertisseur amont 46, se propage dans la fibre optique 43 de compensation, traverse le connecteur 44, se propage dans la fibre optique 45 de compensation, est converti dudit d'ordre mode supérieur vers le mode fondamental, puis sort par la borne de sortie 42 en aval, c'est-à-dire en entrée de l'amplificateur aval 5.

La figure 3 représente schématiquement un tableau de comparaison des performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard. La première colonne représente les numéros des exemples de module de compensation. Les exemples de module de compensation selon l'art antérieur sont notés B1, B2, B3. Les exemples B1, B2, B3 correspondent à des modules associant en série deux fibres optiques de compensation, l'une multimode HOM et l'autre monomode, toutes les caractéristiques de fibre optique données dans le tableau correspondant aux caractéristiques de la fibre optique de compensation multimode HOM. Les exemples de module de compensation selon l'invention sont notés A1, A2, A3, A4. La colonne suivante représente l'opposé de la dispersion chromatique cumulée par la fibre optique de ligne et qui est l'opposé de la dispersion chromatique qu'il faudrait compenser pour compenser 80km de la fibre optique de ligne à 100%, elle est notée D_{DCM} et est exprimée en ps/nm. La colonne suivante représente la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée D_{DCF} et est exprimée en ps/nm-km. La colonne suivante représente la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée S_{DCF} et est exprimée en ps/nm²-km. La colonne suivante représente le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, il est noté D_{DCF}/S_{DCF} et est exprimé en nm. La colonne suivante représente le coefficient d'atténuation de la fibre optique de compensation, il est

noté α_{DCF} et est exprimé en dB/km. La colonne suivante représente le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, il est noté FOM_{DCF} et est exprimé en ps/nm-dB. Les trois colonnes suivantes représentent respectivement la perte d'entrée de la borne d'entrée du module de compensation, l'éventuelle perte de connexion au niveau de la jonction entre fibre optique de compensation multimode HOM et fibre optique de compensation monomode (pour les modules selon le deuxième art antérieur où le convertisseur de sortie est en fait situé entre les deux fibres optiques de compensation), la perte de sortie de la borne de sortie du module de compensation, qui sont respectivement notées Γ_{in} , Γ_{inter} et Γ_{out} , et qui sont exprimées en dB. La colonne suivante représente les pertes d'insertion du module de compensation, elles sont notées IL et sont exprimées en dB. La colonne suivante représente la surface effective de la fibre optique de compensation, elle est notée A_{eff} et est exprimée en μm^2 . La colonne suivante représente le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique de compensation en fonction de l'intensité du signal lumineux qui se propage dedans, il est noté n_2 et est exprimé en $10^{-20} m^2/W$. La colonne suivante représente le critère de non linéarité du module de compensation, il est noté NLC et est exprimé en $10^{-6} km/W-dB$. La colonne suivante représente le critère de qualité du module de compensation, il est noté CQ et est exprimé en dB.

Les modules de compensation selon le premier aspect de l'invention d'une part n'utilisent pas de fibre optique de compensation monomode dans le module de compensation et d'autre part soit présentent un critère de qualité prix qui est plus faible et donc meilleur que celui des modules selon l'art antérieur soit utilisent à critère de qualité équivalent des fibres optiques qui présentent un facteur de mérite bien moindre et donc qui sont nettement moins coûteuses à réaliser.

L'exemple A1 est exclu du premier aspect de l'invention car le critère de qualité est trop élevé et par conséquent trop mauvais.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série

présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 9dB.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 8.5dB.

De préférence, les pertes d'insertion sont inférieures à 5dB, ce qui sera notamment très intéressant dans le cas d'une utilisation dans un dispositif d'amplification et de compensation à un seul amplificateur.

De manière à pouvoir améliorer plus facilement le critère de qualité, au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente de préférence un cœur présentant au moins quatre tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

De manière à pouvoir améliorer le critère de qualité tout en obtenant une bonne linéarité, en fonction de la longueur d'onde, du rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique, au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins cinq tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

La figure 4 représente schématiquement un tableau de comparaison des performances relatives entre des modules de compensation selon l'art antérieur et des exemples de module de compensation selon l'invention, dans le cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle. La première colonne représente les numéros des exemples de module de compensation. Les exemples de module de compensation selon l'art antérieur sont notés B1, B2, C1, C2, C3. Les exemples de module de compensation selon l'invention sont notés A5, A6, A7. Les exemples B1, B2 correspondent à des modules associant en série deux fibres optiques de compensation, l'une multimode HOM et l'autre monomode, toutes les caractéristiques de fibre optique

données dans le tableau correspondant aux caractéristiques de la fibre optique, de compensation multimode HOM. La colonne suivante représente l'opposé de la dispersion chromatique cumulée par la fibre optique de ligne et qui est l'opposé de la dispersion chromatique qu'il faudrait compenser pour compenser 80km de la fibre optique de ligne à 100%, elle est notée D_{DCM} et est exprimée en ps/nm. La dispersion chromatique cumulée par une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle est plus faible que la dispersion chromatique cumulée d'une fibre optique de ligne monomode standard, car sa dispersion chromatique est également plus faible. La colonne suivante représente la dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée D_{DCF} et est exprimée en ps/nm-km. La colonne suivante représente la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, elle est notée S_{DCF} et est exprimée en ps/nm²-km. La colonne suivante représente le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique de la fibre optique de compensation, il est noté D_{DCF}/S_{DCF} et est exprimé en nm. La colonne suivante représente le coefficient d'atténuation de la fibre optique de compensation, il est noté α_{DCF} et est exprimé en dB/km. La colonne suivante représente le facteur de mérite de la fibre optique de compensation, il est noté FOM_{DCF} et est exprimé en ps/nm-dB. Les trois colonnes suivantes représentent respectivement la perte d'entrée de la borne d'entrée du module de compensation, l'éventuelle perte de connexion au niveau de la jonction entre fibre optique de compensation multimode HOM et fibre optique de compensation monomode (pour les modules selon le deuxième art antérieur où le convertisseur de sortie est en fait situé entre les deux fibres optiques de compensation), la perte de sortie de la borne de sortie du module de compensation, qui sont respectivement notées Γ_{in} , Γ_{inter} et Γ_{out} et qui sont exprimées en dB. La colonne suivante représente les pertes d'insertion du module de compensation, elle sont notées IL et sont exprimées en dB. La colonne suivante représente la surface effective de la fibre optique de compensation, elle est notée A_{eff} et est exprimée en μm^2 . La colonne suivante représente le coefficient moyen du deuxième ordre de l'indice de réfraction de la fibre optique de

compensation en fonction de l'intensité du signal lumineux qui se propage dedans, il est noté n_2 et est exprimé en $10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$. La colonne suivante représente le critère de non linéarité du module de compensation, il est noté NLC et est exprimé en 10^{-6}km/W-dB . La colonne suivante représente le critère de qualité du module de compensation, il est noté CQ et est exprimé en dB.

Les modules de compensation selon l'invention présentent un critère de qualité qui est nettement plus faible et donc nettement meilleur que celui des modules selon l'art antérieur : il y a environ un dB entre le plus mauvais module de compensation obtenu selon la méthode de l'invention et le meilleur module de compensation obtenu selon l'art antérieur. Un gain d'un dB est déjà considérable.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un très bon critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 5dB.

De préférence, l'invention concerne des modules de compensation présentant un excellent critère de qualité ; pour cela, la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 4.5dB.

De préférence, les pertes d'insertion sont inférieures à 4dB, ce qui sera notamment très intéressant dans le cas d'une utilisation dans un dispositif d'amplification et de compensation à un seul amplificateur.

De manière à pouvoir améliorer le critère de qualité tout en obtenant une bonne linéarité, en fonction de la longueur d'onde, du rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique, au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins quatre tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique. Ceci est une différence par rapport au module de compensation d'une fibre optique de ligne monomode standard, qui nécessite au moins cinq de

tranches de cœur dans les mêmes conditions, car le rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique d'une fibre optique de ligne monomode standard est en général plus élevé que celui d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle.

- 5 De manière à pouvoir améliorer le critère de qualité tout en obtenant une bonne linéarité, en fonction de la longueur d'onde, du rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique, lorsque ledit rapport est très élevé, c'est-à-dire supérieur à 200nm, au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur
10 présentant au moins cinq tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

La figure 5 représente schématiquement une famille de courbes montrant les variations du critère de qualité en fonction du facteur de mérite de la fibre optique de compensation, à dispersion chromatique de la fibre optique de compensation choisie constante, dans le cas d'une compensation d'une fibre
15 optique de ligne monomode standard. Les tendances montrées sur la figure 5 s'appliquent également au cas d'une compensation d'une fibre optique de ligne à dispersion décalée non nulle. En ordonnée, le critère de qualité CQ est exprimé en dB. En abscisse, le facteur de mérite FOM_{DCF} est exprimé en ps/nm-dB. La courbe CA correspond à une dispersion chromatique valant -300 ps/nm-km. La courbe
20 CB correspond à une dispersion chromatique valant -350 ps/nm-km. La courbe CC correspond à une dispersion chromatique valant -400 ps/nm-km. Les courbes CA, CB, CC montrent, au travers de leur pente relativement faible et de leur espacement entre courbes relativement important, que pour diminuer et donc pour améliorer le critère de qualité, il est plus efficace de diminuer la dispersion
25 chromatique de la fibre optique de compensation à facteur de mérite constant plutôt que d'augmenter le facteur de mérite de la fibre optique de compensation à dispersion chromatique constante. Et ceci est d'autant plus vrai que le facteur de mérite est grand et notamment supérieur à une valeur d'environ 300ps/nm-dB.

De préférence, pour obtenir un module de compensation plus simple, la
30 ligne optique de compensation est constituée d'une seule et même fibre optique

reliant la borne d'entrée à la borne de sortie. Plusieurs fibres optiques de compensation en série permettent, au prix d'une certaine complexité, de mieux compenser la pente de dispersion chromatique de la fibre optique de ligne.

De préférence, le dispositif d'amplification de signal et de compensation
5 de dispersion chromatique comprend successivement, un premier amplificateur de signal, un atténuateur de signal, un module de compensation de dispersion chromatique selon l'invention, un deuxième amplificateur de signal.

Dans un autre mode de réalisation préférentiel, le dispositif
d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique
10 comprend un seul et unique amplificateur de signal suivi par un module de compensation de dispersion chromatique selon l'invention. L'utilisation d'un module de compensation avec un seul amplificateur est rendue possible par les très bons critères de qualité présentés par les modules de compensation selon l'invention, meilleurs que ceux de l'art antérieur et nettement meilleurs que ceux
15 que peuvent présenter des modules de compensation uniquement à base de fibres optiques de compensation monomodes.

De préférence, la ligne de transmission comprend successivement, une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, un dispositif d'amplification de signal et de
20 compensation de dispersion chromatique selon l'invention.

La figure 6 représente un tableau comprenant les valeurs de rayons et de différences d'indice maximales en valeur absolue pour quelques exemples de profils de fibre optique de compensation multimodes HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention. La colonne de gauche comprend la
25 dénomination des profils du n°A1 au n°A7. La numérotation A1 à A7 est la même que celle des figures 3 et 4 : deux mêmes numéros correspondent à la même fibre optique de compensation. La deuxième colonne indique le nombre de tranches que comporte le profil d'indice de cœur de l'exemple considéré. Les six colonnes suivantes expriment en μm des rayons du profil d'indice variable de cœur. Les six
30 dernières colonnes expriment mille fois des différences d'indice par rapport à la

gaine d'indice constant (sans unité). Toutes les cases du tableau ne sont pas remplies, tous les profils n'ayant pas le même nombre de tranches. Les signes moins pour des différences d'indice indiquent des tranches enterrées.

La figure 7 représente un tableau comprenant d'autres propriétés des profils de fibre optique de compensation multimodes HOM représentés à la figure 6. Les cases du tableau ne contenant pas de chiffres mais seulement un tiret correspondent à des propriétés tellement mauvaises que celles-ci rendent la fibre optique impropre à l'utilisation à la longueur d'onde considérée ou dans la plage spectrale de fonctionnement considérée. La colonne de gauche comprend la dénomination des profils déjà expliquée ci-dessus. La colonne suivante contient le nombre de tranches que comporte chaque profil considéré. Pour chaque profil considéré, les autres colonnes représentent des propriétés de la fibre optique correspondant au profil considéré. La colonne suivante représente la surface effective A_{eff} exprimée en μm^2 à une longueur d'onde de 1550nm. La colonne suivante représente la dispersion chromatique exprimée en ps/nm-km à la longueur d'onde de 1550nm. Les sept colonnes suivantes représentent les pentes de dispersion chromatique exprimées en ps/nm²-km respectivement aux longueurs d'onde de 1530nm, 1550nm, 1565nm, 1570nm, 1580nm, 1590nm, 1605nm. La colonne suivante représente la longueur d'onde de dispersion chromatique minimale exprimée en nm. Les trois dernières colonnes représentent les variations relatives maximale de pente exprimées en %, respectivement sur des plages spectrales de fonctionnement allant de 1530nm à 1565nm, allant de 1530nm à 1580nm, allant de 1530nm à 1605nm. La variation relative de la pente de dispersion sur une plage spectrale de fonctionnement correspond au quotient entre d'une part la différence entre la pente maximale de dispersion chromatique sur ladite plage spectrale de fonctionnement et la pente minimale de dispersion chromatique sur ladite plage spectrale de fonctionnement et d'autre part la pente moyenne de dispersion chromatique sur ladite plage spectrale de fonctionnement. Les mauvais résultats de la dernière colonne correspondant à des variations relatives maximales de pente nettement supérieures aux autres colonnes, peuvent

notamment s'expliquer par des longueurs d'onde de dispersion chromatique minimale trop proches de la borne supérieure de la plage spectrale de fonctionnement considérée.

Les exemples A2 et A6 sont exclus du deuxième aspect de l'invention car
 5 la linéarité de la pente de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde, tout comme la linéarité du rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique, est relativement mauvaise. Ces exemples n'ont en effet que trois tranches de cœur.

L'exemple A1 est exclu du deuxième aspect de l'invention car la dispersion
 10 chromatique n'est pas assez négative. Cet exemple n'a en effet que quatre tranches de cœur.

A strictement moins de cinq tranches de cœur, il semble en effet impossible de concilier dispersion chromatique très négative, rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique très élevé et présentant une très
 15 bonne linéarité en fonction de la longueur d'onde.

A strictement moins de quatre tranches de cœur, il semble en effet impossible de concilier dispersion chromatique très négative, rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique élevé et présentant une très bonne linéarité en fonction de la longueur d'onde.

20 La figure 8 représente schématiquement un exemple de forme de profil à quatre tranches de cœur d'une fibre optique de compensation multimode HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention. En abscisse sont portés les rayons exprimés en μm . En ordonnées sont portées mille fois les différences d'indice exprimées sans unité. La première tranche appelée tranche
 25 centrale présente une différence maximale d'indice Δn_1 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_1 . La différence d'indice maximale Δn_1 est positive. De préférence, entre un rayon nul et le rayon r_1 , l'indice est constant. La deuxième tranche appelée première tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_2 avec l'indice constant de la gaine et un
 30 rayon extérieur r_2 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_2 peut

être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_1 et le rayon r_2 , l'indice est constant. La troisième tranche appelée deuxième tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_3 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_3 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_3 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_2 et le rayon r_3 , l'indice est constant. La quatrième tranche appelée troisième tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_4 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_4 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_4 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_3 et le rayon r_4 , l'indice est constant. Au-delà du rayon r_4 se trouve la gaine d'indice constant.

La figure 9 représente schématiquement un exemple de forme de profil à cinq tranches de cœur d'une fibre optique de compensation multimode HOM utilisée dans un module de compensation selon l'invention. En abscisse sont portés les rayons exprimés en μm . En ordonnées sont portées mille fois les différences d'indice exprimées sans unité. La première tranche appelée tranche centrale présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_1 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_1 . La différence d'indice maximale Δn_1 est positive. De préférence, entre un rayon nul et le rayon r_1 , l'indice est constant. La deuxième tranche appelée première tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_2 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_2 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_2 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_1 et le rayon r_2 , l'indice est constant. La troisième tranche appelée deuxième tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_3 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_3 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_3 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_2 et le rayon r_3 , l'indice est constant. La quatrième tranche appelée troisième tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_4 avec l'indice constant de la gaine et un rayon

extérieur r_4 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_4 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_3 et le rayon r_4 , l'indice est constant. La cinquième tranche appelée quatrième tranche périphérique présente une différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_5 avec l'indice constant de la gaine et un rayon extérieur r_5 . La différence d'indice maximale en valeur absolue Δn_5 peut être positive ou négative. De préférence, entre le rayon r_4 et le rayon r_5 , l'indice est constant. Au-delà du rayon r_5 se trouve la gaine d'indice constant.

REVENDECATIONS

1. Module de compensation de dispersion chromatique comportant,
 - un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie
 - 5 (42),
 - une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation (43, 45) de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et
 - 10 disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie,
 - un convertisseur de mode d'entrée (46), convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation,
 - un convertisseur de mode de sortie (47), convertissant ledit mode d'ordre
 - 15 supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie,
 - le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un
 - 20 domaine spectral d'utilisation,
 - la borne d'entrée et le convertisseur de mode d'entrée introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,
 - la borne de sortie et le convertisseur de mode de sortie introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB,
 - 25 d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB,
 - la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm,
 - 30 plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF}

exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de

5 mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20} m^2/W$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la

10 pente de dispersion chromatique moyenne,

le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant

15 de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres

20 optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres

25 moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out}$ et avec $D_{DCM} = -1360 \text{ ps/nm}$,

le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB ,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}},$$

5 le module présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB,

avec $CQ = IL + 10 \log NLC$,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant,

10 premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -200 ps/nm-km ,

deuxièmement un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 240nm et 400nm,

troisièmement une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 9.5dB.

15

2. Module selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 9dB.

20

3. Module selon la revendication 2, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 8.5dB.

25

4. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les pertes d'insertion sont inférieures à 5dB.

5. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins quatre tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

5

6. Module selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins cinq tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

10

7. Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique compris entre 270nm et 370nm.

15

8. Module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie (42),

20

une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation (43, 45) de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie,

25

un convertisseur de mode d'entrée (46), convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation,

30

un convertisseur de mode de sortie (47), convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie,



le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode standard destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

- 5 la fibre optique de compensation ou au moins l'une des fibres optiques de compensation en série présentant un cœur présentant au moins cinq tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique, de sorte que ladite fibre optique présentant un cœur à au moins cinq tranches présente à la fois une dispersion chromatique inférieure à -300ps/nm-km et un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique supérieur à 200nm .
- 10

9. Module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie (42),

- 15 une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation (43, 45) de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie,

- 20 un convertisseur de mode d'entrée (46), convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et la ligne optique de compensation,

- un convertisseur de mode de sortie (47), convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie,
- 25

le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle à 1550nm et destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

la borne d'entrée et le convertisseur de mode d'entrée introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,

la borne de sortie et le convertisseur de mode de sortie introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB,

5 d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm,
 10 plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de
 15 mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la
 20 pente de dispersion chromatique moyenne,

le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant
 25 de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres

optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

10 le module présentant des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

$$\text{avec } IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_{in} + \Gamma_{out} \text{ et avec } D_{DCM} = -680 \text{ ps/nm},$$

le module présentant un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6} km/W-dB ,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_{in}}{10}}},$$

15 le module présentant un critère de qualité CQ exprimé en dB,

$$\text{avec } CQ = IL + 10 \log NLC,$$

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant,

20 premièrement une dispersion chromatique moyenne inférieure à -250 ps/nm-km ,

deuxièmement une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 5dB.

10. Module selon la revendication 9, caractérisé en ce que la fibre
25 optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 5dB.

11. Module selon la revendication 10, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente une dispersion chromatique moyenne suffisamment négative pour que le critère de qualité soit inférieur à 4.5dB.

5

12. Module selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que les pertes d'insertion sont inférieures à 4dB.

13. Module selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisé en ce qu'au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins quatre tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

14. Module selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'au moins l'une des fibres optiques de compensation que comprend la ligne optique de compensation présente un cœur présentant au moins cinq tranches, auquel cœur s'ajoute une gaine optique.

15. Module selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présente un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique inférieur à 200nm.

16. Module de compensation de dispersion chromatique comportant, un boîtier (49) comprenant une borne d'entrée (41) et une borne de sortie (42),

une ligne optique de compensation (40) de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation (43, 45) de dispersion chromatique en série,

ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier, et disposée entre la borne d'entrée et la borne de sortie,

un convertisseur de mode d'entrée (46), convertissant le mode fondamental en ledit mode d'ordre supérieur, étant situé entre la borne d'entrée et
5 la ligne optique de compensation,

un convertisseur de mode de sortie (47), convertissant ledit mode d'ordre supérieur en le mode fondamental, étant situé entre la ligne optique de compensation et la borne de sortie,

le module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes
10 d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode à dispersion décalée non nulle à 1550nm et destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

la fibre optique de compensation ou au moins l'une des fibres optiques de compensation en série présentant un cœur présentant au moins quatre tranches,
15 auquel cœur s'ajoute une gaine optique, de sorte que ladite fibre optique présentant un cœur à au moins quatre tranches présente à la fois une dispersion chromatique inférieure à -300ps/nm-km et un rapport dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique supérieur à 80nm.

20 **17.** Module selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation est constituée d'une seule et même fibre optique reliant le convertisseur de mode d'entrée au convertisseur de mode de sortie.

25 **18.** Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation est constituée de plusieurs fibres optiques de la même famille, c'est-à-dire soit plusieurs tronçons de la même fibre optique, soit plusieurs fibres optiques semblables entre elles aux tolérances de fabrication près.

30

19. Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la ligne optique de compensation comprend plusieurs fibres optiques distinctes entre elles, et en ce que le domaine spectral d'utilisation comprend au moins deux bandes spectrales parmi les bandes spectrales S, C et L.

5

20. Dispositif d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique comprenant successivement, un premier amplificateur (2) de signal, un atténuateur (3) de signal, un module de compensation (4) de dispersion chromatique selon l'une quelconque des revendications précédentes, un deuxième
10 amplificateur (5) de signal.

21. Dispositif d'amplification de signal et de compensation de dispersion chromatique comprenant un seul et unique amplificateur (2) de signal suivi par un module de compensation (4) de dispersion chromatique selon l'une quelconque
15 des revendications 1 à 19.

22. Ligne de transmission comprenant successivement, une fibre optique de ligne monomode (1) destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation, un dispositif (6) d'amplification de signal et de compensation
20 de dispersion chromatique selon la revendication 20 ou selon la revendication 21.

23. Procédé de conception d'un module de compensation de dispersion chromatique,
ledit module étant destiné à comporter,
25 un boîtier comprenant une borne d'entrée et une borne de sortie,
une ligne optique de compensation de dispersion chromatique dans un mode d'ordre supérieur comprenant une ou plusieurs fibres optiques multimodes HOM de compensation de dispersion chromatique en série, ne comprenant aucune fibre optique monomode, étant située dans le boîtier et disposée entre la
30 borne d'entrée et la borne de sortie,



ledit module étant destiné à être introduit, par l'intermédiaire des bornes d'entrée et de sortie, dans une ligne de transmission comprenant une fibre optique de ligne monomode destinée à transmettre des informations dans un domaine spectral d'utilisation,

5 la borne d'entrée introduisant dans la ligne de transmission une perte d'entrée Γ_{in} exprimée en dB,

la borne de sortie introduisant dans la ligne de transmission une perte de sortie Γ_{out} exprimée en dB,

d'éventuelles connexions supplémentaires entre fibres optiques de compensation introduisant ensemble dans la ligne de transmission une perte de connexion Γ_{inter} exprimée en dB,

la fibre optique de compensation ou l'ensemble des fibres optiques de compensation en série présentant, à une longueur d'onde valant 1550nm, plusieurs paramètres moyens dont, un coefficient moyen d'atténuation α_{DCF} exprimé en dB/km, une dispersion chromatique moyenne négative D_{DCF} exprimée en ps/nm-km, une pente de dispersion chromatique moyenne négative S_{DCF} exprimée en ps/nm²-km, un rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant D_{DCF}/S_{DCF} et étant exprimé en nm, un facteur de mérite moyen FOM_{DCF} valant $-D_{DCF}/\alpha_{DCF}$ et étant exprimé en ps/nm-dB, une surface effective moyenne A_{eff} exprimée en μm^2 , un coefficient moyen n_2 du deuxième ordre de l'indice de réfraction en fonction de l'intensité exprimé en $10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$,

le rapport moyen dispersion chromatique sur pente de dispersion chromatique valant le rapport entre la dispersion chromatique moyenne et la pente de dispersion chromatique moyenne,

25 le facteur de mérite moyen valant l'opposé du rapport entre la dispersion chromatique moyenne et le coefficient moyen d'atténuation,

le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le coefficient d'atténuation correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et le coefficient moyen d'atténuation dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en

série valant la somme entre d'une part la moyenne arithmétique des coefficients d'atténuation correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation et d'autre part le rapport entre la perte de connexion et la somme des longueurs desdites différentes fibres optiques de compensation,

chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'une unique fibre optique de compensation étant confondu avec le paramètre correspondant de ladite fibre optique unique de compensation, et chacun desdits autres paramètres moyens dans le cas d'un ensemble de fibres optiques de compensation en série valant la moyenne arithmétique des paramètres correspondants des différentes fibres optiques de compensation ayant été pondérés par les longueurs respectives desdites différentes fibres optiques de compensation,

ledit module étant destiné à présenter des pertes d'insertion IL exprimées en dB,

avec $IL = \frac{D_{DCM}}{D_{DCF}} \cdot \alpha_{DCF} + \Gamma_m + \Gamma_{out}$ et avec D_{DCM} représentant l'opposé de la

dispersion cumulée de la fibre optique de ligne, ledit module étant destiné à présenter un critère de non linéarité NLC représentant les effets de la phase non linéaire et étant exprimé en 10^{-6}km/W-dB ,

$$\text{avec } NLC = \frac{100 \cdot n_2 \cdot (1 - 10^{\frac{D_{DCM}}{10 \cdot FOM_{DCF}}})}{A_{eff} \cdot \alpha_{DCF} \cdot 10^{\frac{\Gamma_m}{10}}},$$

ledit module étant destiné à présenter un critère de qualité CQ exprimé en dB,

avec $CQ = IL + 10 \log NLC$,

ledit procédé de conception comprenant une étape d'optimisation dudit module, ladite étape d'optimisation consistant à diminuer le critère de qualité.

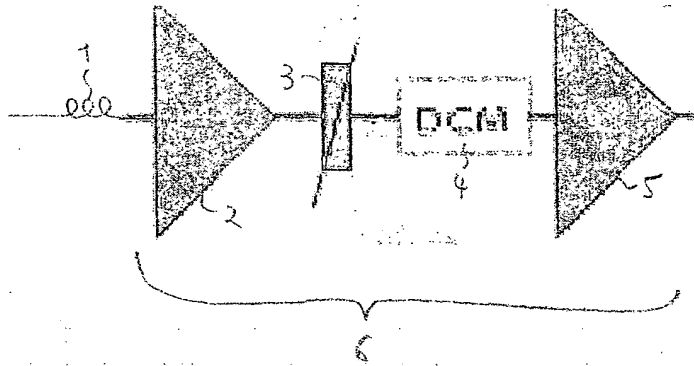


Fig 1

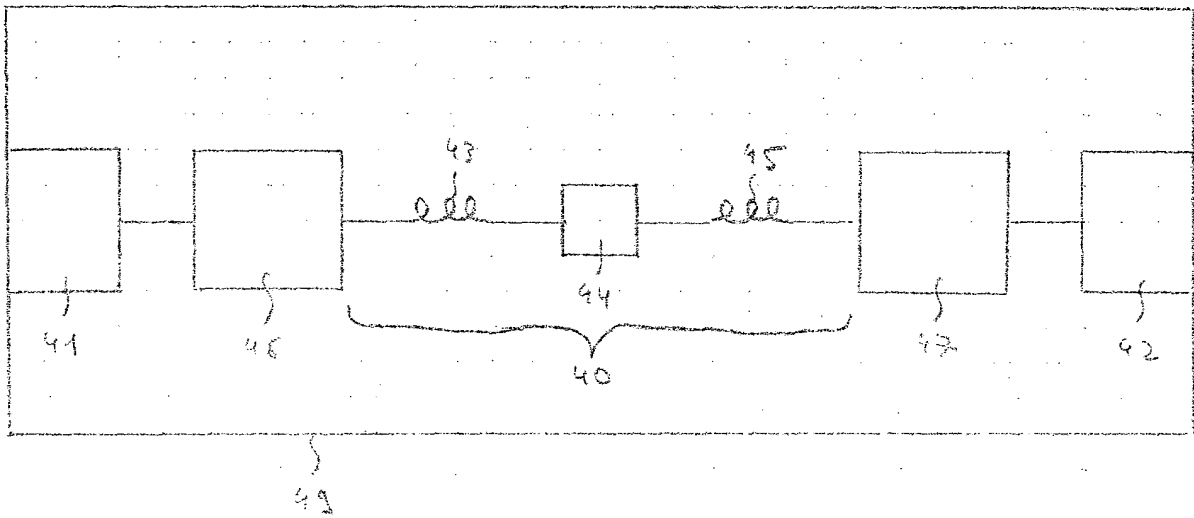


Fig 2

Modules	D_{DCM} (ps/nm)	D_{DCF} (ps/nm-km)	S_{DCF} (ps/nm ² -km)	D_{DCF}/S_{DCF} (nm)	α_{DCF} (dB/km)	FOM_{HOM} (ps/nm-dB)	Γ_{in} (dB)	Γ_{inter} (dB)	Γ_{out} (dB)	IL (dB)	A_{eff} (μm^2)	n_2 ($10^{-20} m^2/W$)	NLC ($10^{-6} km/W-dB$)	CQ (dB)
A1	-1360	-210	-0,70	300	0,70	300	1,00		1,00	6,5	70	3	3,2	11,5
A2	-1360	-300	-1,00	300	0,60	500	1,00		1,00	4,7	85	3	2,7	9,1
A3	-1360	-350	-1,14	307	0,70	500	1,00		1,00	4,7	85	3	2,3	8,4
A4	-1360	-365	-1,19	307	0,75	487	1,00		1,00	4,8	75	3	2,5	8,8
B1 (2 fibres)	-1360	-550	-3,24	170	0,57	965	1,25	1,75	0,50	6,3	99	3	2,4	10,1
B2 (2 fibres)	-1360	-240	-1,71	140	0,50	480	1,00	1,50	0,50	6,8	85	3	3,5	12,2
B3 (2 fibres)	-1360	-450	-2,14	210	0,58	776	1,25	1,75	0,50	6,1	90	3	2,0	9,1

Fig 3

Modules	D_{DCM} (ps/nm)	D_{DCF} (ps/nm-km)	S_{DCF} (ps/nm ² -km)	D_{DCF}/S_{DCF} (nm)	α_{DCF} (dB/km)	FOM_{HOM} (ps/nm-dB)	Γ_{in} (dB)	Γ_{inter} (dB)	Γ_{out} (dB)	IL (dB)	A_{eff} (μm^2)	n_2 ($10^{-20} m^2/W$)	NLC ($10^{-6} km/W-dB$)	CQ (dB)
A5	-680	-340	-1,90	179	0,60	567	1,25		1,25	3,7	75	3	1,2	4,5
A6	-680	-350	-2,39	146	0,75	467	1,25		1,25	4,0	75	3	1,1	4,5
A7	-680	-310	-2,05	151	0,75	413	1,25		1,25	4,1	70	3	1,4	5,5
B1 (2 fibres)	-680	-450	-7,15	63	0,75	600	1,25	1,35	0,10	4,3	65	3	1,9	7,1
B2 (2 fibres)	-680	-400	-2,86	140	0,55	818	1,25	1,35	0,10	4,1	85	3	1,8	6,7
C1	-680	-170	-1,36	125	0,44	386	0,42		0,42	2,6	65	3	3,2	7,6
C2	-680	-210	-1,68	125	0,45	467	0,42		0,42	2,3	65	3	2,7	6,5
C3	-680	-225	-2,25	100	0,92	245	0,60		0,60	4,0	65	3	2,1	7,1

Fig 4

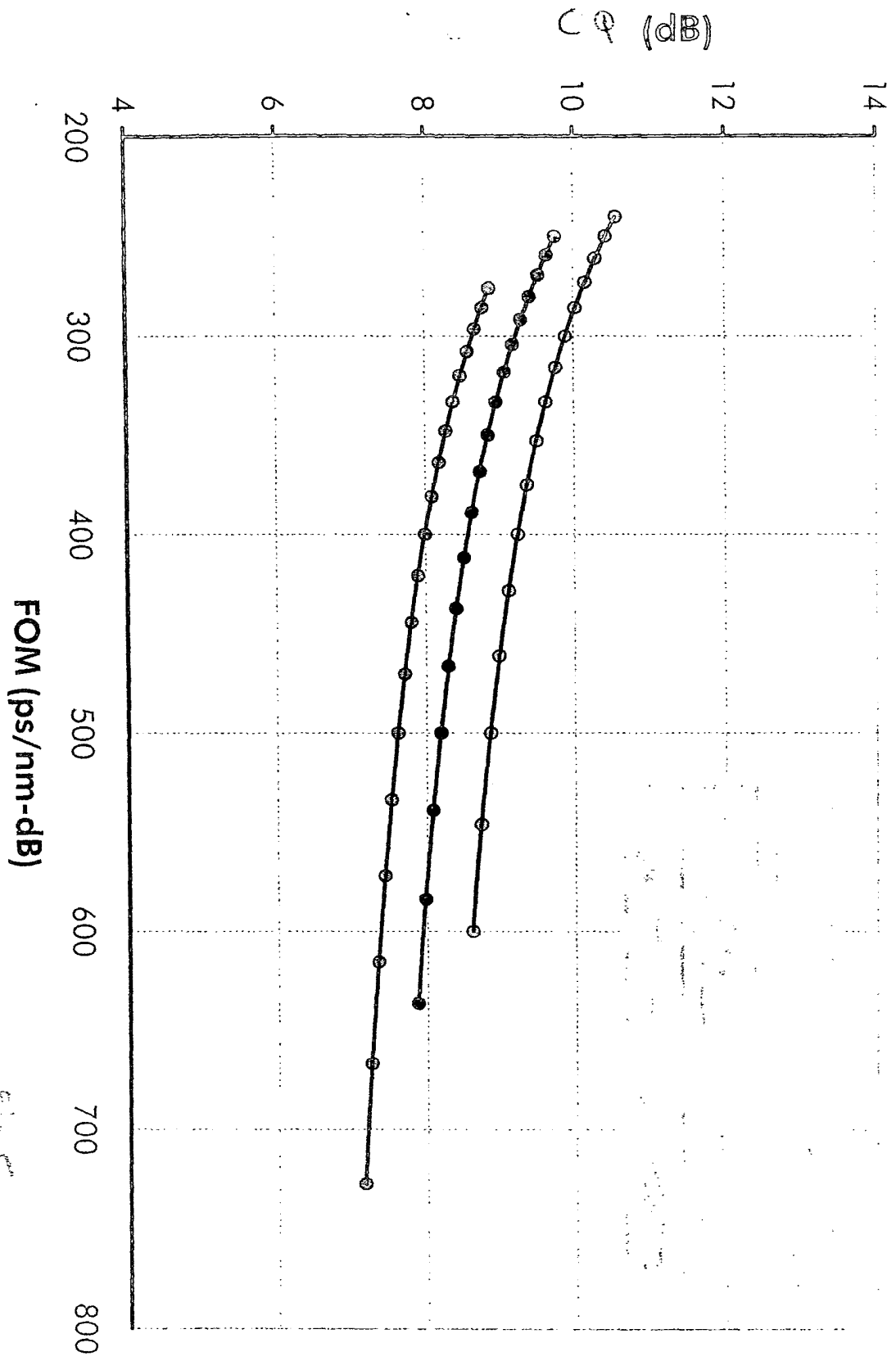


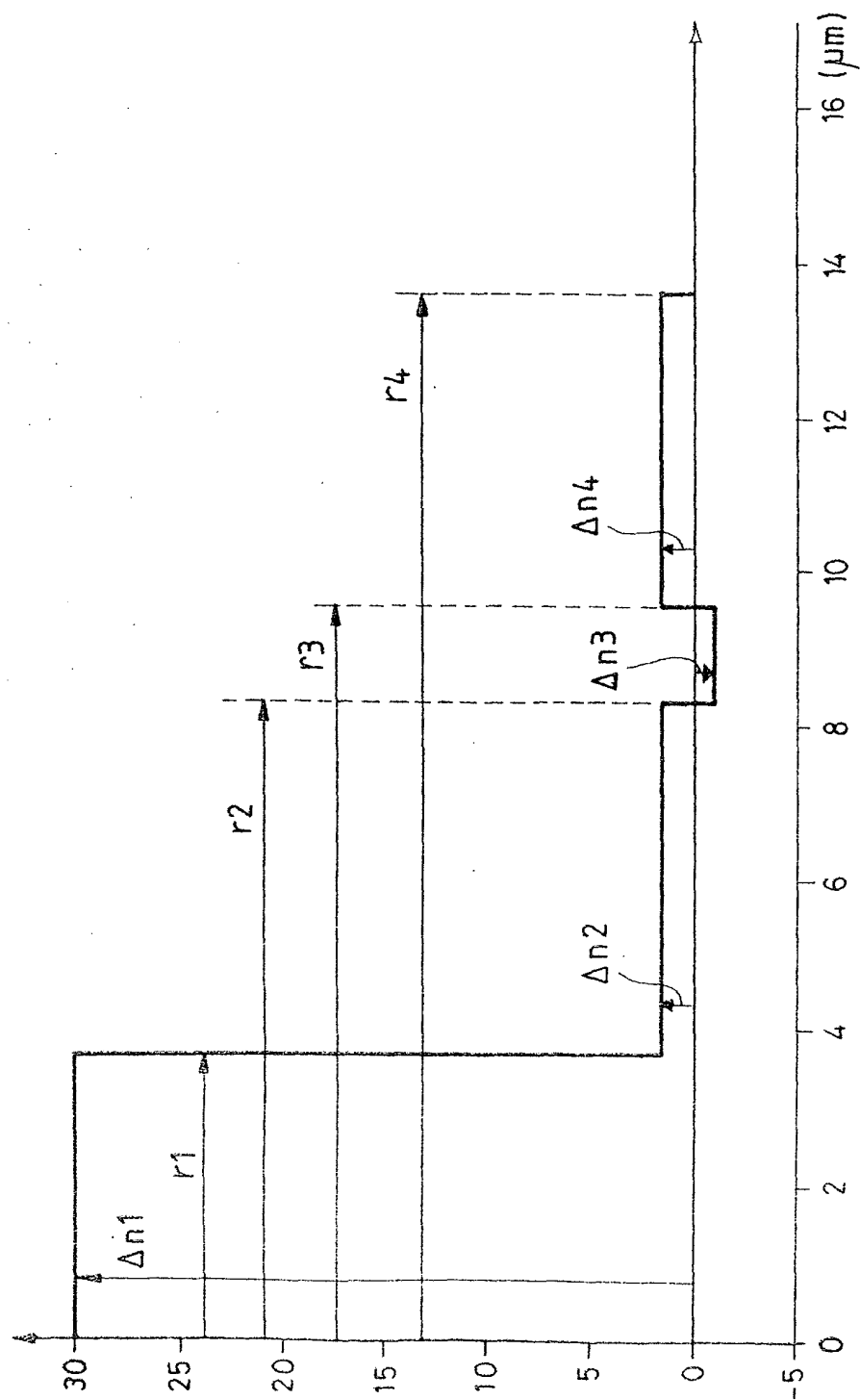
Fig 5

	r1 (μm)	r2 (μm)	r3 (μm)	r4 (μm)	r5 (μm)	10 ³ Dn1	10 ³ Dn2	10 ³ Dn3	10 ³ Dn4	10 ³ Dn5
A1	3.60	6.47	9.80	14.00		30.0	3.3	0.0	0.7	
A2	3.70	8.86	15.79			29.0	2.3	1.3		
A3	3.69	6.22	8.28	12.05	15.06	30.0	-0.9	6.1	-4.0	4.2
A4	3.63	5.15	8.09	11.76	14.70	32	-4.3	4.8	-3.7	4.3
A5	3.98	5.40	8.48	11.67	15.42	28.3	-7.0	4.7	-3.4	3.3
A6	3.60	6.40	16.00			30.0	1.1	0.7		
A7	3.63	8.30	9.53	13.61		30.0	1.4	-1.1	1.4	

Fig 6

	Type	S_{eff} μm^2	Dispersion ps/nm-km	Pente ps/nm ² -km								λ_{min} nm	Variation maximale de Pente %		
				1550nm	1530	1550	1565	1570	1580	1590	1605		1530-1565	1530-1580	1530-1605
A1	4 T	70	-210	-0.68	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	-0.68	-0.66	-0.60	1660	3	3	14
A2	3 T	85	-300	-1.23	-1.00	-0.71	-0.59	-0.32	-0.01	0.49	1590	1590	7	-	-
A3	5 T	85	-350	-1.21	-1.14	-1.14	-1.15	-1.17	-0.95	1625	1625	1625	6	6	23
A4	5 T	75	-365	-1.30	-1.19	-1.17	-1.18	-1.22	-1.26	1635	1635	1635	11	11	11
A5	5 T	75	-340	-1.86	-1.90	-1.93	-1.93	-1.91	-1.82	-1.42	1625	1625	4	4	26
A6	3 T	75	-350	-2.20	-2.39	-2.38	-2.32	-2.09	-1.72	-0.77	1615	1615	8	13	-
A7	4 T	70	-310	-1.85	-2.05	-2.12	-2.12	-2.05	-1.87	-1.34	1630	1630	13	13	37

Fig 7



8-51

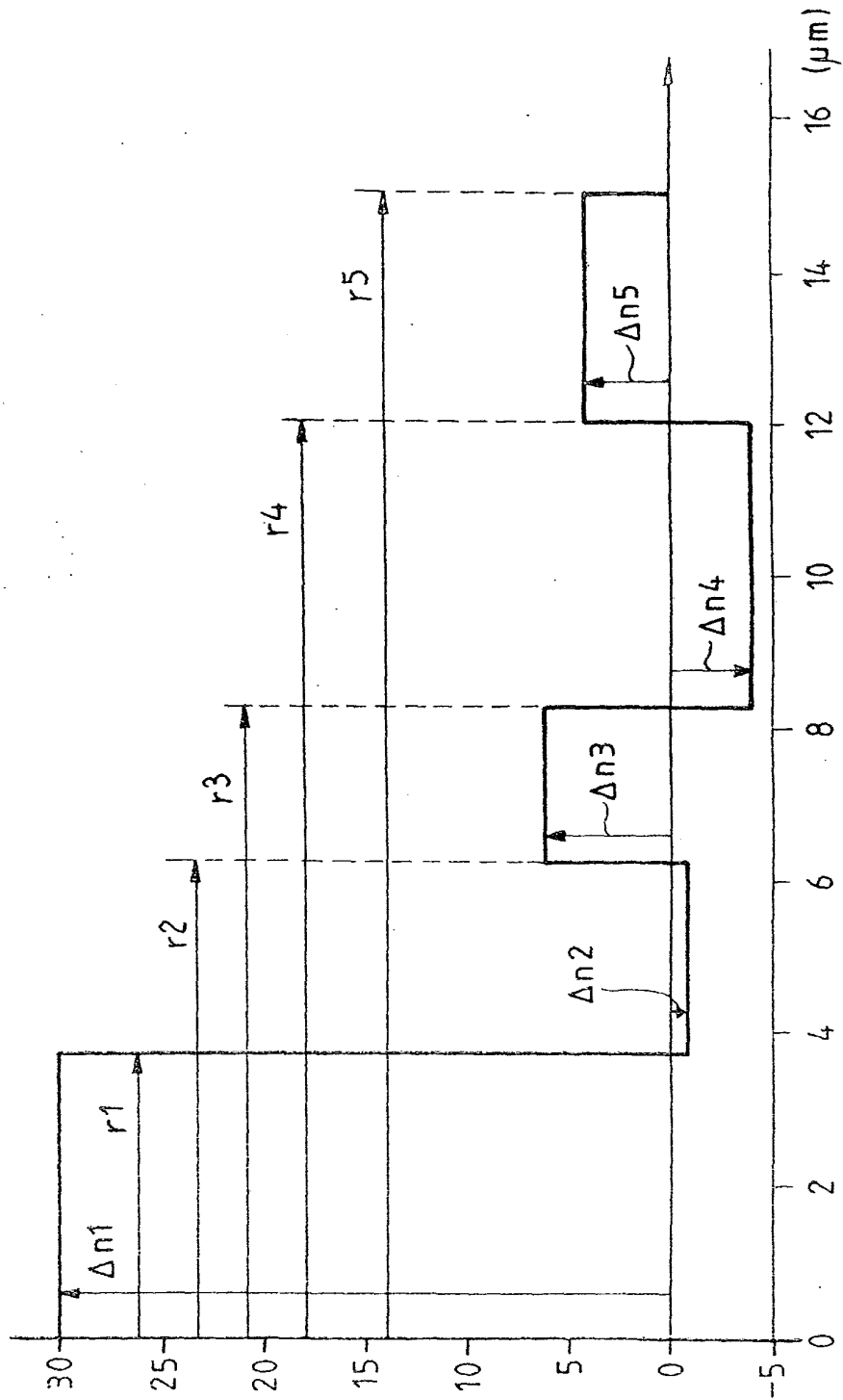


FIG-9



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260891

Vos références pour ce dossier (facultatif)		105248/RV/OFF/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		11	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		SILLARD	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	2 SQUARE RAPHAËL RÉSIDENCE ORSAY	
	Code postal et ville	78150 LE CHESNAY, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		DANY	
Prénoms		Bruno	
Adresse	Rue	1 ALLÉE DES VIGNERONS RÉSIDENCE DES ARTS BÂTIMENT E12	
	Code postal et ville	78600 MAISONS LAFFITTE, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		BERTAINA	
Prénoms		Alain	
Adresse	Rue	25, RUE D'ALEMBERT	
	Code postal et ville	75014 PARIS, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX DU PROPRIÉTAIRE XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		24 avril 2003 Régis VIGAND 	



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2./2..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

UB 113 W / 260891

Vos références pour ce dossier (facultatif)		105248/RV/OFF/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0305226 11	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) MODULE DE COMPENSATION DE DISPERSION CHROMATIQUE			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		GORLIER	
Prénoms		Maxime	
Adresse	Rue	18, RUE FOURCROY	
	Code postal et ville	75017	PARIS, FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX XX XX XX XX XX XX XX XX XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		24 avril 2003 Régis VIGAND 	

